

Bírálat

Major Csaba Ferenc

“Szélesszögű spektroszkópiai ellipszométer fejlesztése és alkalmazása napelem-technológiai ZnO rétegek vizsgálatára”
című PhD dolgozatról



1. Általános értékelés

A Szerző a 145 oldal terjedelmű dolgozatát a PhD tudományos fokozat megszerzéséért nyújtotta be. Az értekezésben ismertetett tudományos eredményekből 3 megjelent, 2 elfogadott tudományos publikáció született és egy benyújtott szabadalom készült. Ezek messzemenően kielégítik az SZTE Fizika Doktori Iskola által előírt követelményeket. A bemutatott kutatási eredmények jellegüket tekintve ellipszométer fejlesztések és anyagminősítések. A jelöltnek alapvető szerepe volt a nagy felületek vizsgálatára alkalmas, szélesszögű ellipszométer optikájának megtervezésében, a készülék várható spektrális és laterális felbontásának meghatározásában és a hitelesítésekben. Bemutatta, hogy a szélesszögű ellipszométer hogyan használható egy napelem gyártósoron készült optikai vékonyréteg roncsolásmentes analizisére. Az Adachi, valamint a Cauchy modell dielektromos függvények alkalmazásával kidolgozott egy eljárást az elektromosan vezető, és a látható hullámhossz tartományban optikailag átlátszó polikristályos ZnO filmek minősítésére. Ehhez kapcsolódóan transzmissziós elektron mikroszkópos, Röntgen- és elektron diffrakciós vizsgálatokat is végzett. Az eredmények tükrében a Szerző végső következtetéseit helytállónak tartom. Az elvégzett kutatás mennyisége és eredményessége kielégíti a cím megszerzéséhez szükséges feltételeket.

A választott kutatási téma gyakorlati szempontból értékes és ígéretes, hiszen eredményei közvetlenül hasznosulnak a vékonyrétegek modern gyártási technológiáiban, így különösen a napelem gyártósoroknál, ugyanakkor ösztönzőleg hatnak további műszerfejlesztésekre is az ellipszométerek elvén alapuló mérőrendszereknél.

A dolgozat klasszikus felépítésű. Elméleti megalapozással kezdődik, majd a különböző típusú ellipszométerek rövid leírása következik. Hiányzik viszont a ZnO vékonyrétegek optikai és elektromos tulajdonságainak rövid áttekintése, pedig szép számú irodalom áll a Szerző rendelkezésére. A korábbi eredmények ismertetését azért tartom fontosnak, mert ez adja a szakmai alapot arra, hogy megfelelő paramétereket használ a Szerző a ZnO rétegek minősítésére. A célkitűzések és a vizsgálati módszerek bemutatása következik ezután, majd az eredmények tárgyalása két nagy fejezetben. A dolgozat logikus felépítésű, arányos és szép kivitelű. A mű nyelvezete, stílusa jó, azonban gyakran használ idegen szavakat a magyar szakkifejezések helyett, nem jó helyen teszi ki a vesszőket, így mondatai néha érthetetlenek, időnként keveri az a és az névelőket.

Részletes tartalmi értékelés

A fenti pozitív általános értékelés ellenére a dolgozatban szép számmal akadnak olyan kijelentések, amelyek vagy nincsenek összhangban a kísérleti eredményekkel, vagy azok nem megfelelő analiziséből fakadnak, vagy más szempontból nem megalapozottak. Emiatt az alábbiakban az értekezés szerkezetét követve ismertetem tartalmi megjegyzéseimet, kritikai észrevételeimet és a kérdéseket.

1. A 6.1.13. ábrán semmilyen méretinformáció nem szerepel, így nem állapítható meg az oldalirányú felbontás.
2. A szélesszögű ellipszométer kalibrációs méréseinél számomra nem világos, hogy miért kell a Woollaam cég készülékével mért értékre, mint etalonra tekinteni. Rétegvastagságot pl. lehet AFM-mel is mérni és nincs szükség modellezésre. Egy tükör által okozott polarizációt meg lehet állapítani egy független mérés segítségével.
3. A 6.1.16. ábrához kapcsolódóan nem írja le a Szerző, hogyan számolta a vastagságokat.
4. Az 53. oldalon az szerepel, hogy a film polarizátor kioltási tényezője nem éri el a gyári műszerben alkalmazott prizmás polarizátor nagyságrendjét. Milyen megbízhatósággal lehet meghatározni film polarizátorok alkalmazásakor a kioltási helyzetet? Mekkora a mérőműszer ebből származó standard hibája?
5. A 6.2.1. ábrán látható fénymenet szerint a megvilágított felületrész jóval kisebb, mint az odaérkező nyaláb szélessége, ami sok szórt fényt eredményez. A tervezésben történt-e a szórt fény csökkentésére optimalizálás?
6. A 79. oldalon az olvasható, hogy a vastagságmérésnél a szórások nemcsak a mérésből származnak, hanem a korábbi kalibrációkból öröklődnek. Felhívnám a Szerző figyelmét arra, hogy meg kellene határozni a mérőkészülék szisztematikus hibáját.
7. A 81. oldalon a ZnO vékonyrétegekkel foglalkozik a Szerző és azt írja, hogy "A ZnO magas direkt átmeneti energiájú félvezető még szobahőmérsékleten is". Vélhetően a ZnO optikai tilossáv szélességére gondol, ugyanis direkt optikai átmenetek nagyobb energiáknál is lehetségesek. A direkt átmenetek hasonló téves értelmezésével találkozunk a 83. oldalon is. Itt jegyzem meg, hogy az Adachi-féle modell dielektromos függvény leírása, amely pontosan az anyag dielektromos függvényéhez járulékot adó optikai átmeneteket veszi számba, elnagyolt és néhol hibás. A 7.2.7. egyenlet pl. nem a kiterjedt állapotoknak, hanem a kiterjedt exciton állapotoknak a járuléka a dielektromos függvényhez. A benne szereplő $A_{0\chi}^{Ca}$ pedig a kiterjedt exciton optikai átmenet erőssége nem pedig erősítési paramétere. Az utóbbi mást jelent.
8. Hogyan mérte a fajlagos ellenállást?
9. ϵ_{∞} -nek nincs mértékegysége (7.2.2. és 7.2.4. táblázat).
10. A 7.2.3. táblázatban az utolsó oszlop a minták átlátszóságára vonatkozik. Ennek csak akkor van értelme, ha azt is megmondjuk, hogy milyen hullámhossz tartományban. Mi az oka annak, hogy éppen a két legnagyobb tilossáv szélességű minta nem átlátszó, figyelembe véve még azok rétegvastagságát is?
11. A 89. oldalon található okfejtés hasonlóságokra épít. Ehelyett azonban a Szerző kiszámolhatta volna a minták abszorpciós spektrumát, hiszen a mérési eredmények ezt lehetővé teszik, és ekkor látszana konkrétan, hogy milyen is az optikai elnyelés az egyes mintákra.
12. A 109. oldalon található összefoglalásban, ahol áttér az ellenállás helyett a vezetőképesség használatára, tévesen írja le a 7.2.11. és 7.2.12. ábrákon látható függést. Ugyanitt a mintákat a nagy extinkciós koefficiensük alapján próbálja jellemezni, csak azt nem mondja meg, hogy milyen hullámhossznál kell ezt érteni.

Bár az előzőekben leírt kritikai észrevételek számosak, azok a dolgozat fő következtetéseit, nem vonják kétségbe. A sokoldalúan elvégzett vizsgálatok alapján fontos és értékes megállapításokra jutott a Szerző a szélesszögű ellipszométerek fejlesztését és a ZnO vékonyréteg minősítését illetően. A munka eredményei a téma szempontjából jelentősek, további kutatásokat inspirálnak az adott területen.


Új tudományos eredmények

A Szerző új eredményeit 4 tézispontban foglalja össze. A tézispontban megfogalmazott eredményeket új tudományos eredményeknek fogadom el, kivéve a 4. tézispont utolsó állítását, ugyanis ez a félvezető fizika alapjaihoz tartozik és nem új felismerés.

Kifogásolom viszont az 1.a és b, a 2., valamint a 4. tézispontokban a “Részt vettem...” kezdetű mondatokat, amelyek nem tekinthetők tudományos eredménynek.

Összefoglalva az értekezést alkalmasnak tartom a nyilvános vitára és azt követően a doktori fokozat megszerzésére.

Budapest, 2010. 03. 05.


Koós Margit
az MTA doktora

Bírálat Major Csaba Ferenc „Szélesszögű spektroszkópiai ellipszométer fejlesztése és alkalmazása napelem-technológiai ZnO rétegek vizsgálatára” című PhD értekezéséről



1) A dolgozat időszerűsége

A dolgozat témája aktuális. Manapság sajnos nem kérdéses, hogy egyre inkább rászorulunk az alternatív megújuló energiaforrásokra. A napelemipar exponenciális bővülése szükségessé teszi a napelemek gyártás során történő roncsolásmentes vizsgálatát, amelyre kiválóan megfelelnek a jelölt által fejlesztett, egyidejűleg nagyobb felületet is mérő ellipszométerek. A vékonyréteg napelem alkotóelemeinek vizsgálata – mint például az átlátszó vezető rétegeké – az anyagtudományi kutatások fontos és aktuális témái közé tartozik.

2) A dolgozat szerkezete

A dolgozat – nem számítva a függelék – 131 oldalas mű, arányaiban megfelelne a PhD értekezéseknek, de a 2. fejezetben és a 3.1 alfejezetben leírt elméleti összefoglaló nincs, vagy csak nagyon laza kapcsolatban áll a jelölt saját munkájával. Az olvasó lépten-nyomon rossz magyar szórendbe botlik, magyartalan kifejezésekbe (pl.: „Cartesian” koordináta rendszer, koefficiens, metódus, effektív médium, „azimuth” szög, stb.), ami nagyon megnehezíti az olvasást. A jelölések nem konzekvensek, az egyik oldalon például a törésmutatót nagy „N”-nel a következőn már kis „n”-nel jelöli. A legnagyobb hiba, hogy az elméleti összefoglalóban leírtakra a későbbi fejezetek nem támaszkodnak, viszont hiányzik számos olyan ismeret, amelynek a bevezetésben való tárgyalása szükséges lett volna. Ezek az optikai tervezés lépéseinek, vagy akár a tervezőprogram bemutatása, az ellipszométer kalibráció alaplépéseinek ismertetése, és a cink-oxidnak, mint anyag a bemutatása (kristályszerkezet, sáv szerkezet, fizikai tulajdonságok...), és vezetőréteggént való alkalmazás irodalmának rövid bemutatása.

A dolgozat 1. és 7.1 es fejezete sok olyan információt tartalmaz, ami nem kapcsolódik szorosan a jelölt kutatásaihoz. A napelem fejlesztések megemlítése röviden indokolt, de nem a dolgozatban megjelenő részletességgel. A 7.2. alfejezet rosszul szerkesztett, nincsen megfelelően tagolva, az eredmények bemutatása nem követ egy logikai sorrendet. A szöveg ugyanis a munka időrendi sorrendjét követi, ami a későbbi mintasorok leírásánál felesleges többlet szövegeket eredményez.

3) Szakirodalom feldolgozása.

A publikációs jegyzék nem szokványos jelölésű. Mivel a publikációk nem az előfordulási sorrendben szerepelnek a publikációs jegyzékben, ezért a dolgozatbeli hivatkozások visszakeresése rendkívül nehéz. A publikációk megadása nem konzekvens, néhol szerepel a közlemény címe, a legtöbb esetben nem. A dolgozathoz kitűnik, hogy a jelölt ismeri a szakirodalmat. A dolgozat témájához kapcsolódó cikkek eredményeit összeveti a saját eredményeivel.

4) Vizsgálati módszerek

Az alkalmazott vizsgálati módszerek minden tekintetben megfelelnek a kor követelményeinek. A jelölt bemutatta, hogy képes használni a modern optikai tervező szoftvereket, és a kapott eredményeket a gyakorlatban is képes megvalósítani.

5) Dolgozat tudományos értéke

A PhD értekezés egy, az MTA MFA-ban kifejlesztett új ellipszométer típus továbbfejlesztése. A fejlesztés eredményeképp nagy minták is vizsgálhatóvá váltak, a jelölt bemutatta az alkalmazhatóságot vákuumkamrában is, illetve elkészítette a spektroszkópiai verziót is, ami igen jelentős előrelépés ebben az ellipszométeres családban. A dolgozat hiányossága, hogy a készülékek kalibrálásával kapcsolatos leírás nem teljes körű. Az optikai elemek a mérőfény polarizációs állapotát megváltoztathatják. Ennek a hatásnak a figyelembevételére történt mérések eredményei hiányoznak a dolgozathoz. A technikai-fizikai megvalósítás mellett a ZnO rétegek spektroszkópiai ellipszométeres vizsgálata és elemzése érdekes eredménnyel zárult.

6) Az értekezés és a közlemények megfelelése az SZTE Fizika Doktori Iskola programjának

A jelölt 7 közleményt jelölt meg a téziseinek alapjául. Ebből 1 benyújtott szabadalom, 4 megjelent vagy elfogadott közlemény és 2 benyújtott közlemény (lehet hogy időközben ezek is elfogadásra kerültek). A folyóiratcikkek megfelelő szintű szakmai folyóiratokban jelentek meg, ezek kielégítik a doktori iskola által támasztott követelményeket.

7) Az értekezés nyelvezete érthetősége, kiállítása

Az értekezés nagy részére jellemző sajnos a hanyagság. A szöveg nagyon változó színvonalú, gyakran magyartalan. A képletekben szereplő mennyiségek az esetek többségében nincsenek megfelelően bevezetve, vagy megnevezve. A táblázatok néha redundáns információkat

tartalmaznak, előfordul, hogy ezek az adatok különbözőek. A szövegekben az információk nincsenek logikus sorba kapcsolva. Az ábrák és a táblázatok számozása több helyen hibás, a szövegbeli hivatkozásuk pontatlan. A függelékben megadott táblázatok nem informatívak, nagy részük felesleges. Ezek a problémák nagyon megnehezítik a dolgozat olvasását és megértését. Mindez oda vezet, hogy a szakmai eredmények elsikkadnak, és értékük is csökken – legalábbis az olvasó szemszögéből tekintve. A dolgozat hibáiról mellékelek egy listát, amelyet a jelölt rendelkezésére bocsátok.

8) Az értekezéssel kapcsolatos szakmai kérdések, megállapítások.

1. A vákuumra szerelt széles szögű ellipszométer optikai elemei közül több a vákuumkamrában helyezkedik el. A vákuumkamrában milyen más kísérleteket végeznek? Történik-e rétegnövesztés? Ha igen változatlanok maradnak-e az optikai elemek? Ha nem, akkor milyen mértékben változhat a rajtuk reflektálódó fény polarizációs állapota?
2. A jelölt az Adachi-féle modell dielektromos függvény alkalmazása részfejezetben azt írja: „Ha fölteszük, hogy a valencia és a vezetési sáv parabolikus, a Krámers-Kronig relációt alkalmazva a következő eredmény adódik” 7.2.1 - a 7.2.4 képletek. Kérem mutassa be röviden, hogyan adódik ez az eredmény! Megjegyzem, hogy a 7.2.1 képletben található A, B és C indexek nem irányokat jelölnek, hanem különböző alsávokat a valencia sávban.
3. A 91. oldalon megadta a jelölt különböző ZnO rétegek dielektromos függvényének a képzetes részét. A 10-es minta esetében a különböző járulékok felfutása hasonló. Mennyire voltak korreláltak a direkt átmenethez tartozó paraméterek a kontinuum excitonokhoz tartozó paraméterekkel?
4. A dolgozat 7.2.12-es és 7.2.13-as ábrája, a diszkrét exciton amplitúdó és a direkt átmenetek energiái a ZnO minták fajlagos ellenállásának függvényében az egyik legfontosabb eredmény. A mérési pontokhoz bejelölt hibák miből adódnak? Mekkora volt az ellenállás mérés hibája? A dolgozatban (104. oldal) azt írja, hogy „Az erősödő exciton jelenlét nem lehet közvetlen okozója a csökkenő ellenállásnak, de ugyanaz a jelenség (közvetve vagy közvetlenül) okozhatja mindkettőt.” Mi lehet ez a jelenség?

9) Az angol nyelvű összefoglaló értékelése.

Az angol nyelvű szakmai összefoglaló jó angolsággal összegzi az értekezésben leírt munkát.

10) Az értekezés alkalmassága a védésre és a doktori fokozat megszerzésére

Az értekezést a szakmai eredmények alapján javaslom, hogy nyilvános vitára bocsássák.

Sikeres védés esetén javaslom a jelölt részére a doktori fokozat megítélését.

Szeged, 2010. március 17.



Tóth Zsolt